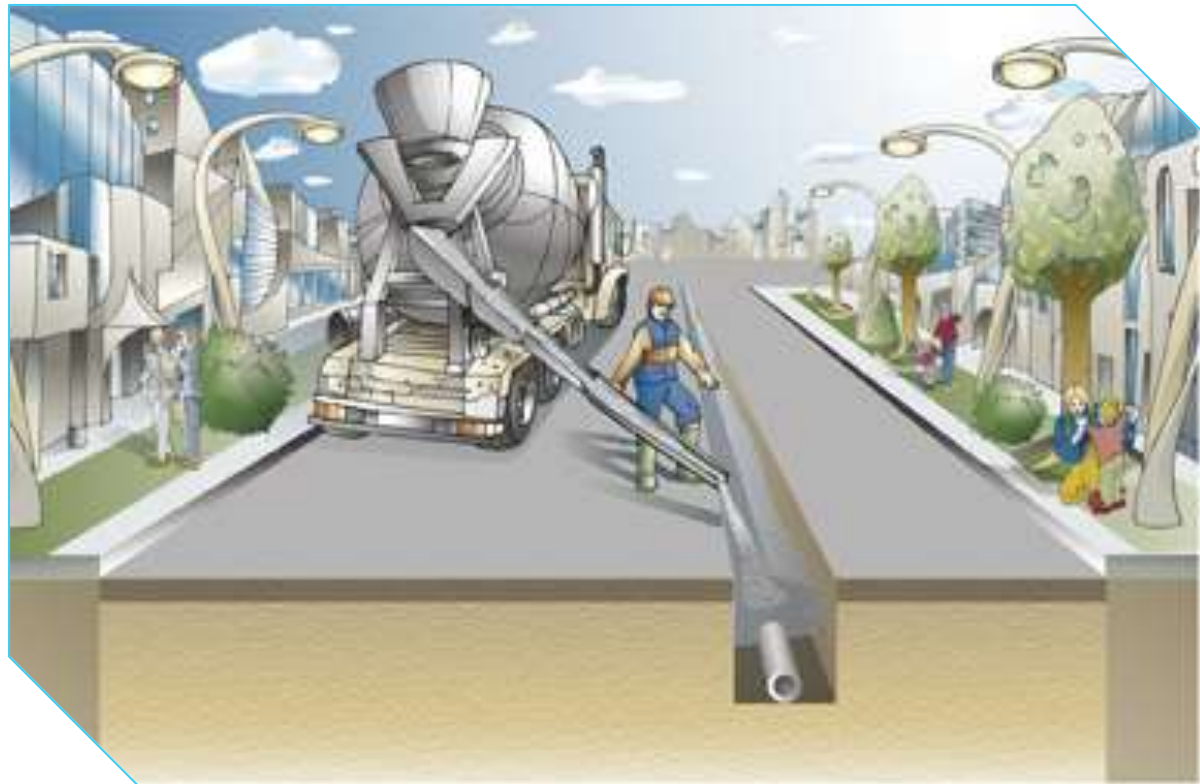




Les matériaux autocompactants



4.7 Les matériaux autocompactants

L'ACCÈS AUX RÉSEAUX ENTERRÉS : UNE NÉCESSITÉ

Pourquoi installer de nouveaux réseaux

Progrès technologique et innovation technique

Urbanisation extensive due à une démographie sans cesse croissante

Pourquoi intervenir sur les réseaux existants

Vieillessement et dégradations

Réparations suite à des disfonctionnements



4.7 Les matériaux autocompactants

ACCÈS AUX RÉSEAUX ENTERRÉS : LES SOLUTIONS

Au stade de la conception

Pour installer de nouveaux réseaux et faciliter les interventions futures, il est conseillé de prévoir :

Des fourreaux en attente

Un revêtement modulaire au-dessus de la tranchée

Des galeries multi-réseaux



4.7 Les matériaux autocompactants

ACCÈS AUX RÉSEAUX ENTERRÉS : LES SOLUTIONS

Au stade de l'exploitation

Pour éviter l'ouverture de tranchées, faire appel à :

Des techniques de forage sous la voirie

Des micro-tunneliers

Ouverture de la tranchée, intervention sur réseaux et remblayage de la tranchée



4.7 Les matériaux autocompactants

OUVERTURE ET REMBLAYAGE DES TRANCHÉES : UNE NÉCESSITÉ MAIS PAS SANS MAL

Pour la voirie

- Décompression des matériaux de chaussées
- Risque de variation de la teneur en eau des matériaux et conséquences sur la portance de la plate-forme support de chaussées

Pour les riverains

- Gêne
- Bruit

Pour les usagers

- Gêne
- Insécurité

Pour les gestionnaires de la voirie

- Fréquence et délais d'intervention
- Conséquences sur l'ouvrage : tassements, dégradations...



4.7 Les matériaux autocompactants

OUVERTURE ET REMBLAYAGE DES TRANCHÉES : LES OBJECTIFS POUR LE MAÎTRE D'OUVRAGE

Sécurité maximale pour les riverains, les usagers
et les équipes intervenant sur les chantiers

Nuisances réduites

Rapidité d'exécution

Qualité de l'exécution



4.7 Les matériaux autocompactants

OUVERTURE ET REMBLAYAGE DES TRANCHÉES : VITE FAIT, BIEN FAIT

Ouverture d'une tranchée

- Tracer l'emplacement futur de la tranchée et sa dimension
- Scier à la monolame la couche de roulement
- Démolir au marteau-piqueur, ou au brise-roche, la zone sciée en réalisant la cassure du flanc du revêtement suivant un angle avoisinant 90°
- Excaver la tranchée à l'aide d'une pelle mécanique

Remblayage traditionnel des tranchées

Défini dans :

- La Norme NF P 98 331
- Le Guide technique « Remblayage des tranchées et réfection des chaussées » - SETRA/LCPC, 1994

Règles de l'art

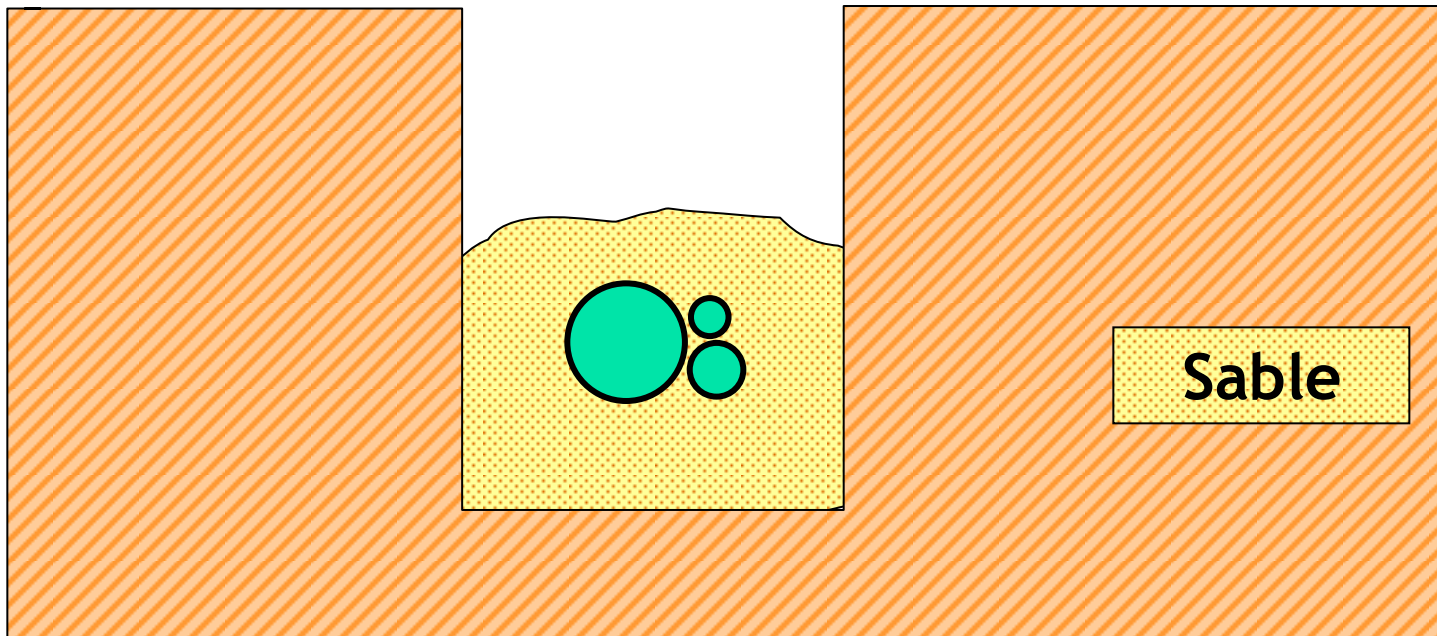
- Remblayage par couches successives d'épaisseur 20 à 30 cm
- Compactage de chaque couche afin de lui conférer une densité maximale



4.7 Les matériaux autocompactants

REMBLAYAGE TRADITIONNEL DES TRANCHÉES

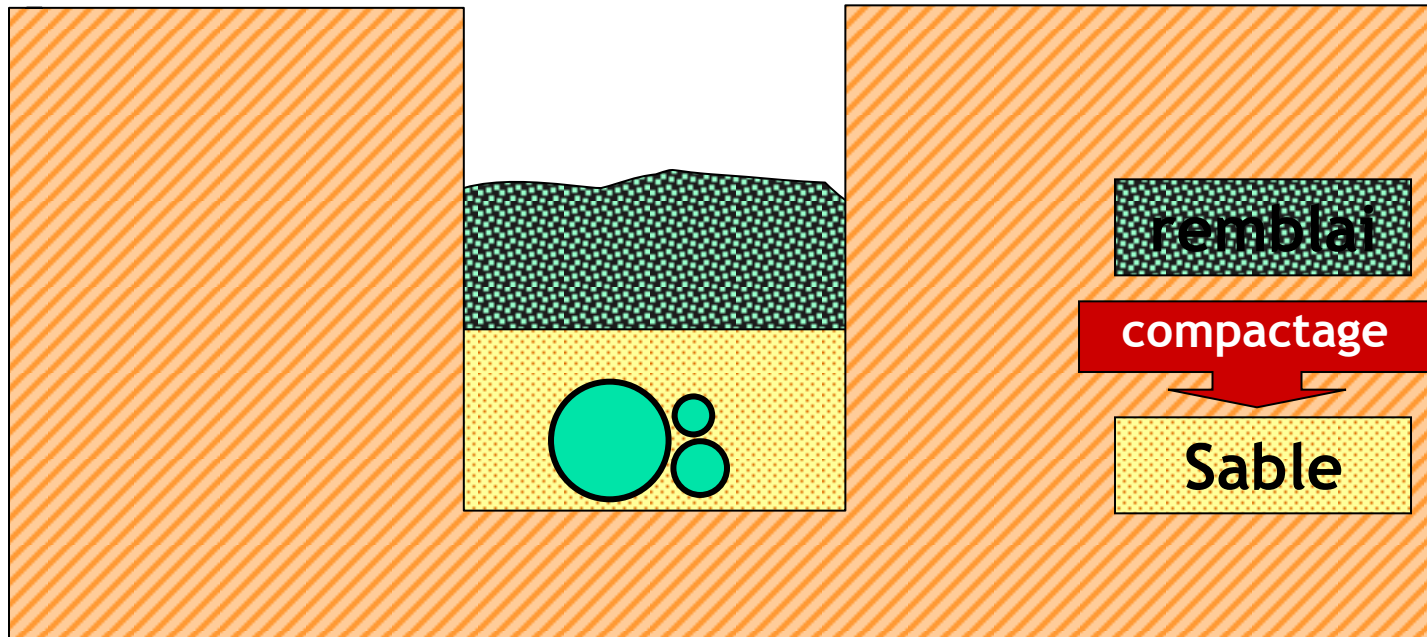
Enrobage des fourreaux avec du sable



4.7 Les matériaux autocompactants

REMBLAYAGE TRADITIONNEL DES TRANCHÉES

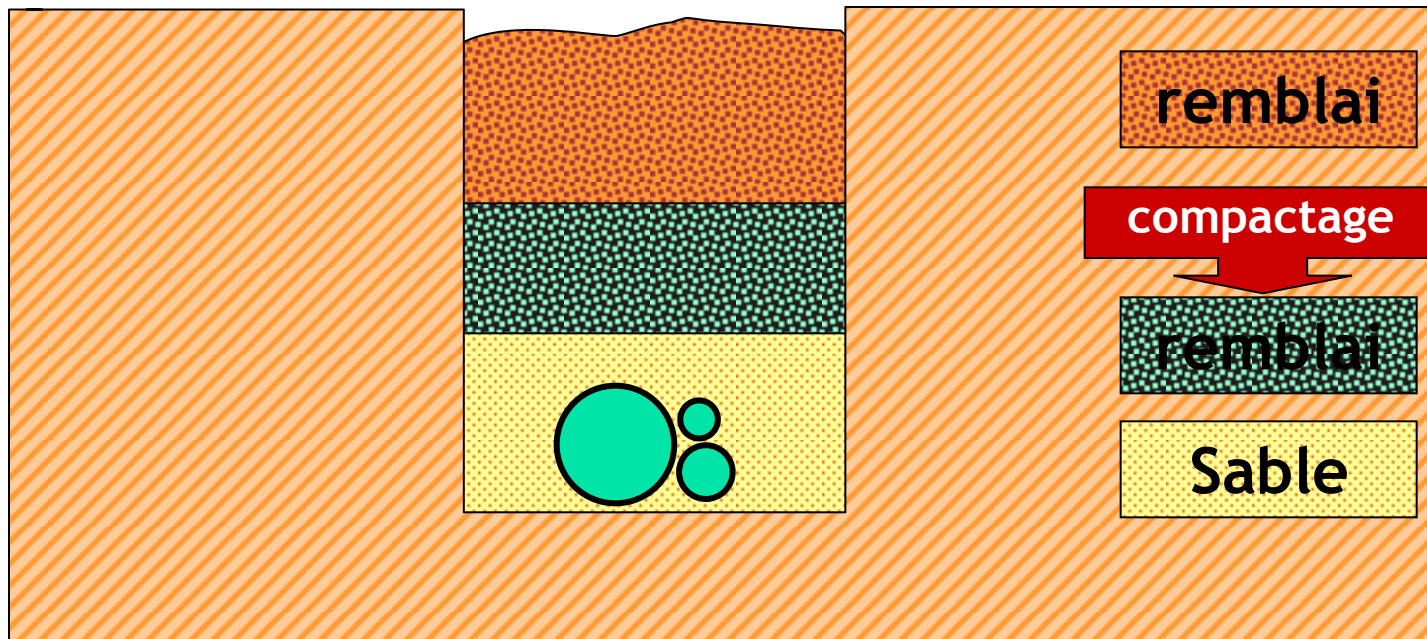
Compactage du sable et mise en place de la 1^{ère} couche de remblai



4.7 Les matériaux autocompactants

REMBLAYAGE TRADITIONNEL DES TRANCHÉES

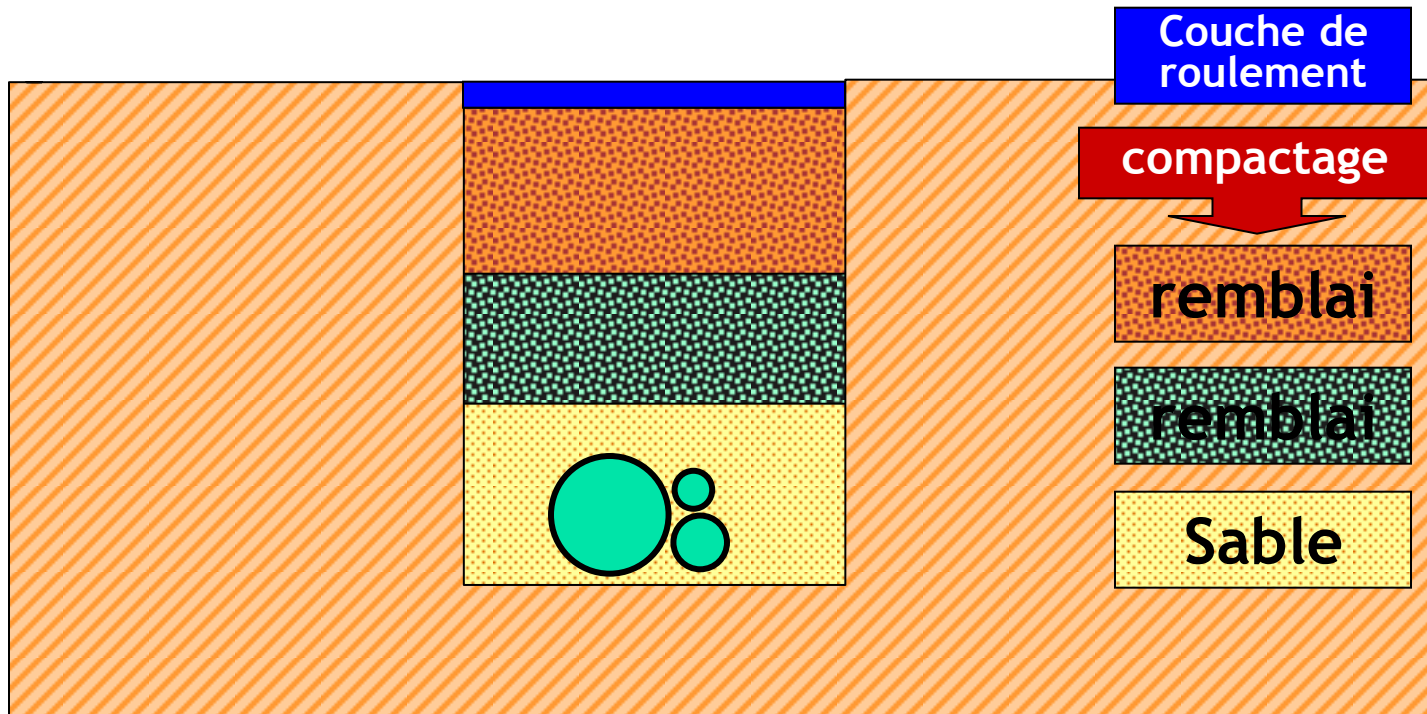
Compactage 1^{ère} couche de remblai et mise en place de la 2^e couche de remblai



4.7 Les matériaux autocompactants

REMBLAYAGE TRADITIONNEL DES TRANCHÉES

Compactage 2^e couche de remblai et mise en place de la couche de roulement



4.7 Les matériaux autocompactants

REMBLAYAGE TRADITIONNEL DES TRANCHÉES

Contraintes et limites

Inadapté pour les tranchées encombrées ou étroites

Sécurité des ouvriers → Pas totalement assurée

Maîtres d'ouvrage → Vigilance accrue et suivi des contrôles de compactage

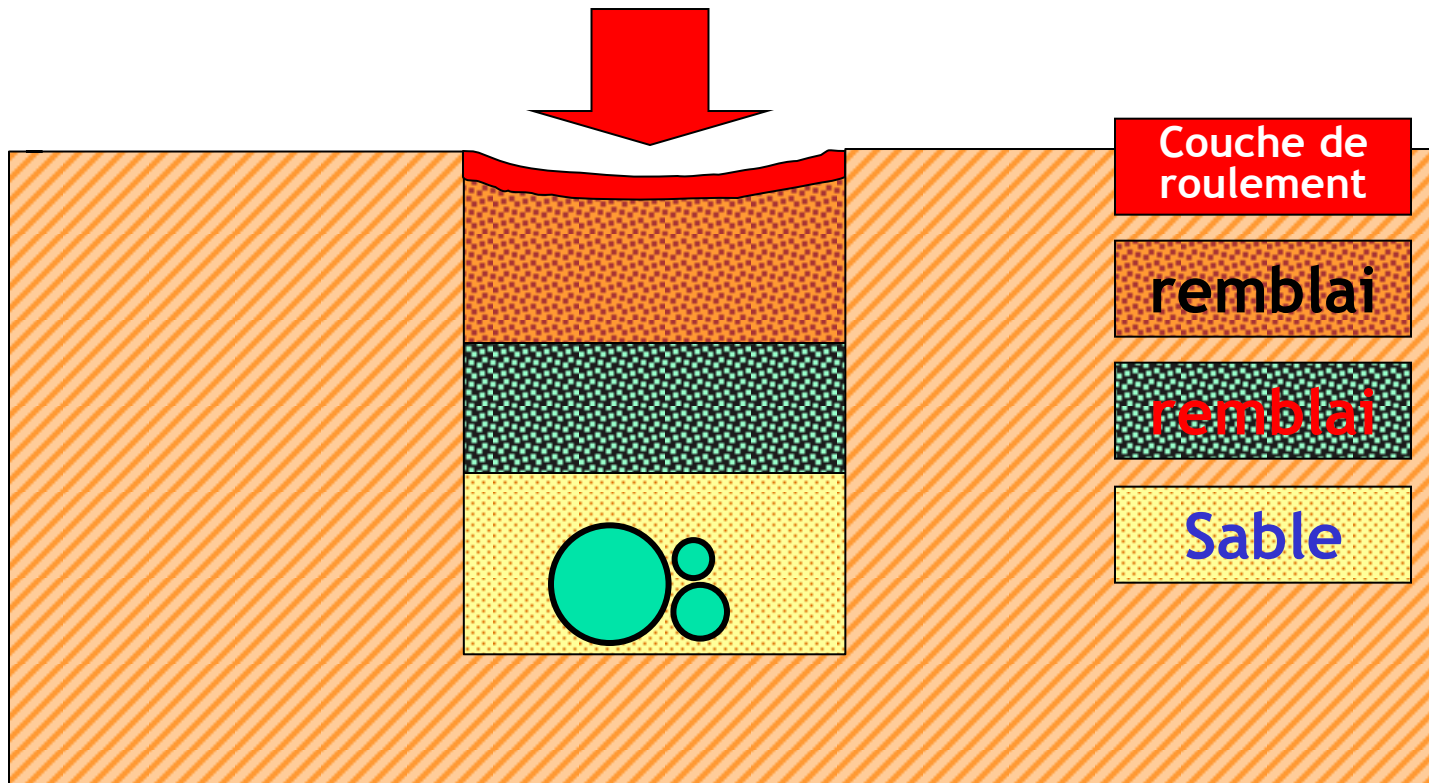
Source de nuisances sonores et de gênes aux riverains et aux usagers

Si compactage imparfait des couches → Déformation en surface



4.7 Les matériaux autocompactants

REMBLAYAGE TRADITIONNEL DES TRANCHÉES



4.7 Les matériaux autocompactants

DE QUOI S'AGIT-IL ?

Matériaux autocompactants → Matériaux granulaires traités aux liants hydrauliques

Ne nécessitent pas de compactage lors de leur mise en œuvre

Utilisés depuis 25 ans au Canada et aux États-Unis

Apparus en France il y a 20 ans



4.7 Les matériaux autocompactants

QUALITÉ PREMIÈRE

Matériaux autocompactants → Permettent à la maîtrise d'œuvre et à l'entreprise :

De s'affranchir des contraintes liées :

À la mise en place des matériaux par couches

Au compactage mécanique

Au choix des matériaux

De simplifier les contrôles qualité sur chantier



4.7 Les matériaux autocompactants

CARACTÉRISTIQUES D'UTILISATION

Fluide à la mise en œuvre

Homogène

Autocompactable

Durable

Réexcavable



Peut être coloré → Rôle d'avertisseur lors des interventions sur des réseaux EDF ou GDF

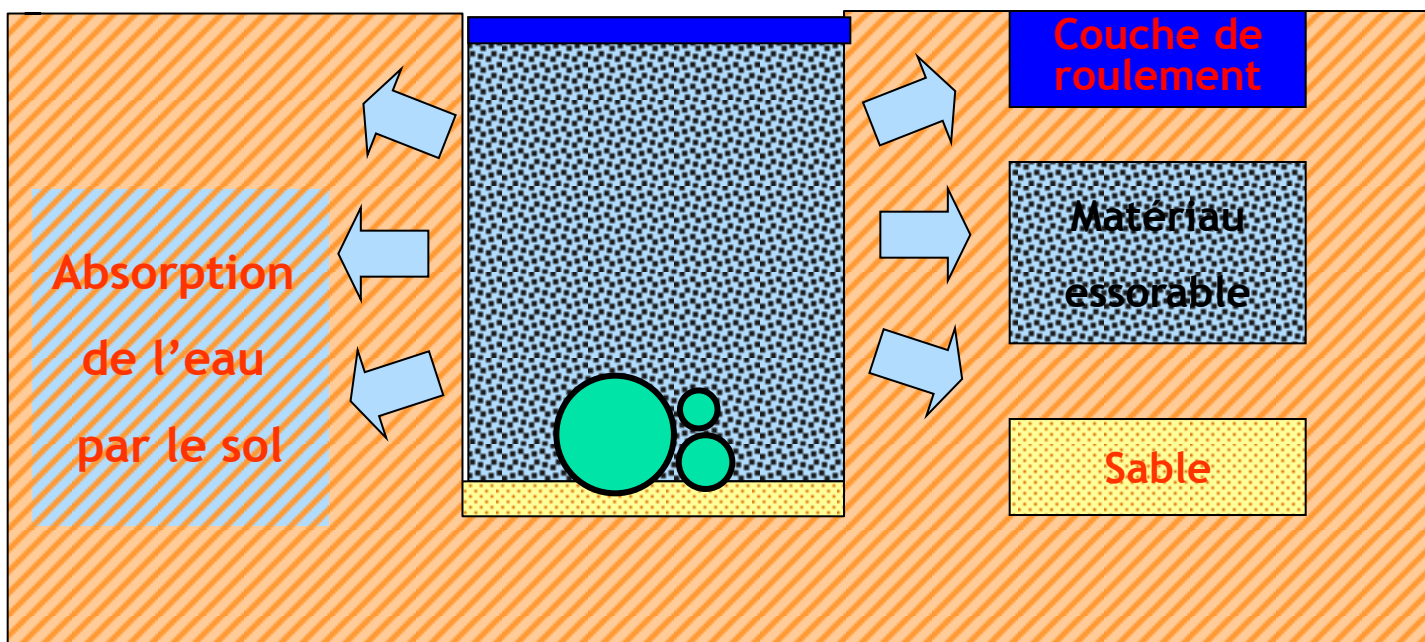


4.7 Les matériaux autocompactants

LES DIFFÉRENTS PRODUITS

Les produits essorables

Produits dont la capacité portante s'acquiert :
Dans un premier temps, par essorage du matériau
Ensuite, par la prise du liant



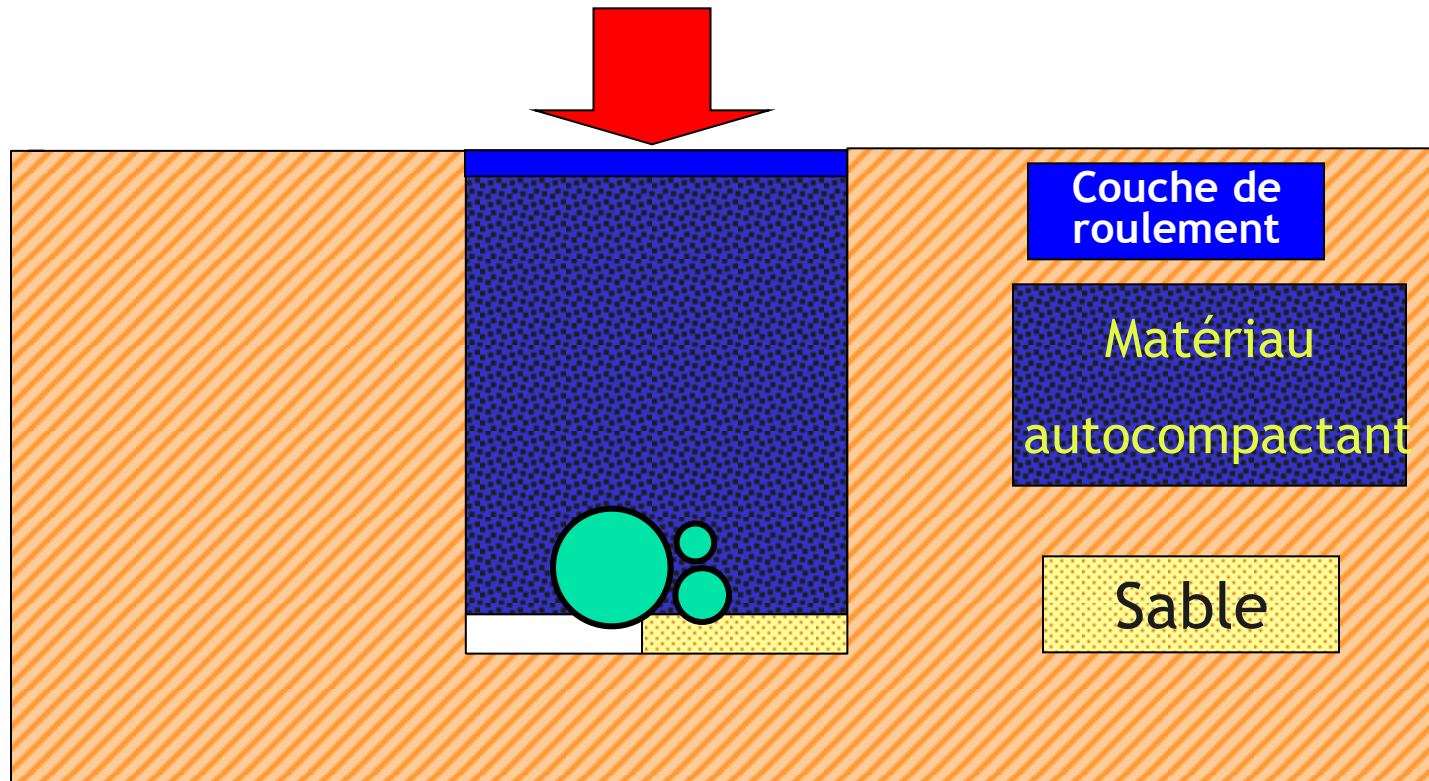
Les produits non essorables

Produits dont la capacité portante s'acquiert uniquement par la prise du liant

4.7 Les matériaux autocompactants

ESSORABLES OU NON ESSORABLES : LE RÉSULTAT

Aucun affaissement de la couche de roulement



4.7 Les matériaux autocompactants

TRAVAUX DE CODIFICATION

Effectués par un groupe de travail représentant :

- L'Administration
- Les services techniques des villes
- Les concessionnaires
- Les fournisseurs de matériaux
- Les entreprises
- Les laboratoires de l'équipement

Sous l'égide du Ministère de l'Équipement (CERTU - SETRA)

Échanges d'expérience → Rédaction d'une Note d'information



4.7 Les matériaux autocompactants

TRAVAUX DE CODIFICATION

Contenu de cette note d'information :

Définit le domaine d'application

Décrit les différents types de produits actuellement connus

Expose la manière de les caractériser et de les mettre en œuvre

Propose quelques spécifications

Limite l'emploi de ces matériaux à un trafic t_3

Nota : Résultats d'études faites au CER de Rouen et au laboratoire Régional de Lille → Apportent des éléments techniques pour des trafics plus importants

4.7 Les matériaux autocompactants

AVANTAGES

Mise en œuvre aisée et rapide par camion malaxeur

Meilleure productivité → Peu de main-d'œuvre

Pas de compactage

Accès aux tranchées étroites

Pas de stockage de matériaux de remblai

Moins de gêne pour l'utilisateur → Moins de nuisances pour les riverains

Plus de sécurité pour les ouvriers

Meilleur enrobage des gaines

Remise en circulation rapide

Solution durable

Réexcavabilité du produit

Solution économiquement performante

4.7 Les matériaux autocompactants

FICHE PRODUIT DES MATÉRIAUX AUTOCOMPACTANTS

Caractéristiques envisagées pour établir une fiche-produit

Mise à jour le :

DONNEES GENERALES		Intervalles de variation	
Désignation commerciale : _____ Type de matériaux : <input type="checkbox"/> Essorable <input type="checkbox"/> Non essorable <input type="checkbox"/> Assise de chaussée (trafic \leq T3) Usage : <input type="checkbox"/> Enrobage <input type="checkbox"/> Remblai <input type="checkbox"/> Assise de chaussée (trafic \leq T3) Pour sol encaissant : <input type="checkbox"/> Très perméable <input type="checkbox"/> Perméable <input type="checkbox"/> Tous types de sol			
DESCRIPTION DU MATERIAU FRAIS		Intervalles de variation	
Grandométrie : <input type="checkbox"/> Discontinue <input type="checkbox"/> Continue <input type="checkbox"/> Serti-concassés Nature granulaire : <input type="checkbox"/> Roulés <input type="checkbox"/> Concassés <input type="checkbox"/> Serti-concassés			
D_{max} : _____ mm Addition : _____ Liant : _____ Eau : _____ Adjuvants : _____	Dosages : _____ à _____ kg/m ³ _____ à _____ kg/m ³ _____ à _____ kg/m ³ _____ à _____ _____ à _____		
CARACTERISTIQUES EN LABORATOIRE DU MATERIAU A L'ETAT FRAIS		Procédures d'essais	
Affaissement au cône d'Abrams : _____ à _____ mm Eclatement au cône d'Abrams : _____ à _____ Masse volumique apparente prod. non essorable : _____ à _____ kg/m ³ Stabilité : _____ % à _____ h _____ % à _____ h		NF P 18 451 à préciser à préciser à préciser	
CARACTERISTIQUES EN LABORATOIRE DU MATERIAU DURCI AGE D'AU MOINS 28 JOURS		Procédures d'essais	
Résistance à la compression 28 j : _____ à _____ MPa Module d'élasticité à 28 jours : _____ à _____ MPa Résistance à la compression à 90 jours : _____ à _____ MPa Masse volumique apparente : _____ à _____ kg/m ³ Porosité ouverte : _____ à _____ % Perméabilité à l'eau : _____ à _____ m/s Perméabilité à l'air : _____ à _____ m/s Résistivité thermique : _____ à _____ Km/W Résistance au gel / dégel : _____ à _____ pH et agressivité chimique : _____		à préciser à préciser à préciser à préciser à préciser à préciser à préciser à préciser	
CARACTERISTIQUES MESUREES SUR PLANCHE D'ESSAI		Date :	
Longueur de la tranchée : _____ m Matériau du lit de pose : _____ heures Matériau de l'enrobage : _____ Perméabilité de l'encaissant : <input type="checkbox"/> Très perméable <input type="checkbox"/> Perméable <input type="checkbox"/> Peu perméable Température ambiante au cours des 24 premières heures : Mini _____ °C Maxi _____ °C Enfoncement de 2,5 cm du boîlet de Kelly : _____ minutes PANDA Rp (Ø à 50 cm) \geq 2 MPa à : _____ heures ou PDG 1000 ec (Ø à 50 cm) \leq 60 mm/c à : _____ heures PANDA Rp (Ø à 50 cm) \geq 8 MPa à : _____ heures ou PDG 1000 ec (Ø à 50 cm) \leq 15 mm/c à : _____ heures EV2 (plaque Ø 600 mm) > 35 MPa à : _____ heures EV2 (plaque Ø 600 mm) > 50 MPa à : _____ heures EV2 (plaque Ø 600 mm) à _____ heures : _____ MPa EV2 (plaque Ø 600 mm) à _____ heures : _____ MPa Déflexion à 28 jours : _____ EV2 (plaque Ø 600 mm) à 28 jours : _____ MPa			
CONSEILS DE MISE EN ŒUVRE			
Délai maximum fabrication/mise en œuvre : _____ heures Durée minimum de malaxage avant débavement : _____ minutes Pont longitudinal maximum admissible : _____ % Couche d'accrochage de la couche roulement, nécessaire : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Nature : _____ Protection superficielle avant restitution à circulation, nécessaire : <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Nature : _____			

4.7 Les matériaux autocompactants

LES MACES, MATÉRIAUX AUTOCOMPACTANTS ESSORABLES DE STRUCTURE

Nouvelle génération de matériaux hydrauliques

Propriétés

Fluides à la mise en œuvre (auto-plaçants)

Acquisition de portance rapide par « essorage » (autocompactage)

Résistances comparables à celles des graves aux liants hydrauliques



4.7 Les matériaux autocompactants

APPLICATIONS

À l'origine → Plusieurs applications envisagées en structure de chaussées

Aujourd'hui → Poutres de rives pour chaussées à faible trafic



4.7 Les matériaux autocompactants

HISTORIQUE

1999 - Phase de recherche sur les matériaux hydrauliques pour la route au LCPC (F. de Larrard, T. Sedran)

Avantages attendus → Rapidité de mise en œuvre / Bon compactage assuré quel que soit le support ou la géométrie / Pas de limitation d'épaisseur pour chaque couche / Intérêt pour la mise en œuvre et le dimensionnement (comportement monolithique) / Simplification des chantiers : rapidité et moindre coût

1999-2001 - Partenariat de recherche LCPC-Italcementi Group (CTG) pour développer un matériau générique

Fin 2001 - Présentation du concept à la profession routière (Journée d'information LCPC) et appel à partenariat aux entreprises

2002 - Partenariat de recherche : LCPC-Italcementi Group (CTG, Calcia)-Eurovia



4.7 Les matériaux autocompactants

HISTORIQUE (FIN)

Résultats

Identification d'un créneau d'utilisation → **Les poutres de rives pour les élargissements de chaussées à faible trafic**

Solution au problème de sous-compactage récurrent (apparition rapide de désordres) des méthodes traditionnelles en GNT

Réalisation de chantiers d'essais, puis de démonstration



4.7 Les matériaux autocompactants

Caractérisation du matériau

Méthode de caractérisation adaptée

Matériau essorable : 140 kg/m³ de ciment, 200 à 300 litres d'eau, précautions particulières pour la mise en place

Réalisation des éprouvettes (voir plus loin) avec appareil de Glanville modifié (Norme BS 1881 : Part 2, 1970)

Mesure Rt et E (id graves)

Mise en place avec ou sans drainage

Mesure de portance (IPI)



4.7 Les matériaux autocompactants

MISE EN PLACE DES ÉPROUVETTES

Intérêt de cette méthode → Conditions de mise en œuvre fixées et indépendantes du manipulateur

Fabrication répétable d'éprouvettes pour les essais mécaniques

Écart-type pour R_{tb} de l'ordre de 0,1 MPa

Écart-type pour R_c de l'ordre de 0,5 MPa

Fond des cylindres → Peut être percé pour simuler le drainage par le bas (cas d'un sol perméable)

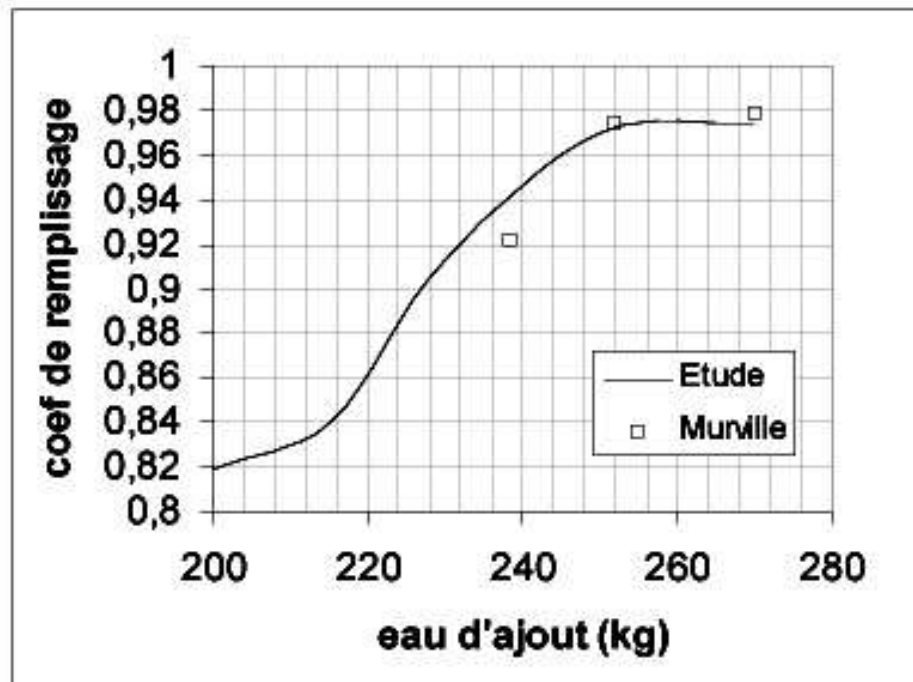
Mesure du ratio de remplissage (= densité en place/densité maximale théorique)

→ Permet de qualifier la mise en œuvre



4.7 Les matériaux autocompactants

MISE EN PLACE DES ÉPROUVETTES



4.7 Les matériaux autocompactants

« ESSORABLE » ?

Confection des éprouvettes

Avec ou sans drainage

Bonnes performances dans les deux cas

Essorage des MACES → Une possibilité, pas une obligation

Utilisable → Quelle que soit la perméabilité du sol encaissant



4.7 Les matériaux autocompactants

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Démonstration de la faisabilité technique d'un MACES

MACES 140 → 140 kg/m³ de CEM I 52,5

Quantité d'eau ajustée pour ouvrabilité → 200-300 l/m³

Squelette granulaire → Eventuellement ajusté pour portance (IPI)

Comportement obtenu → Celui d'une grave GC2

Pente de la droite de fatigue → Proche de celles des graves ciment (-1/b=13,1)



4.7 Les matériaux autocompactants

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES SUR TOUS LES MATÉRIAUX TESTÉS

Cible (grave G2) → Toujours atteinte

Sensibilité à la quantité d'eau → Nécessité d'une étude de formulation

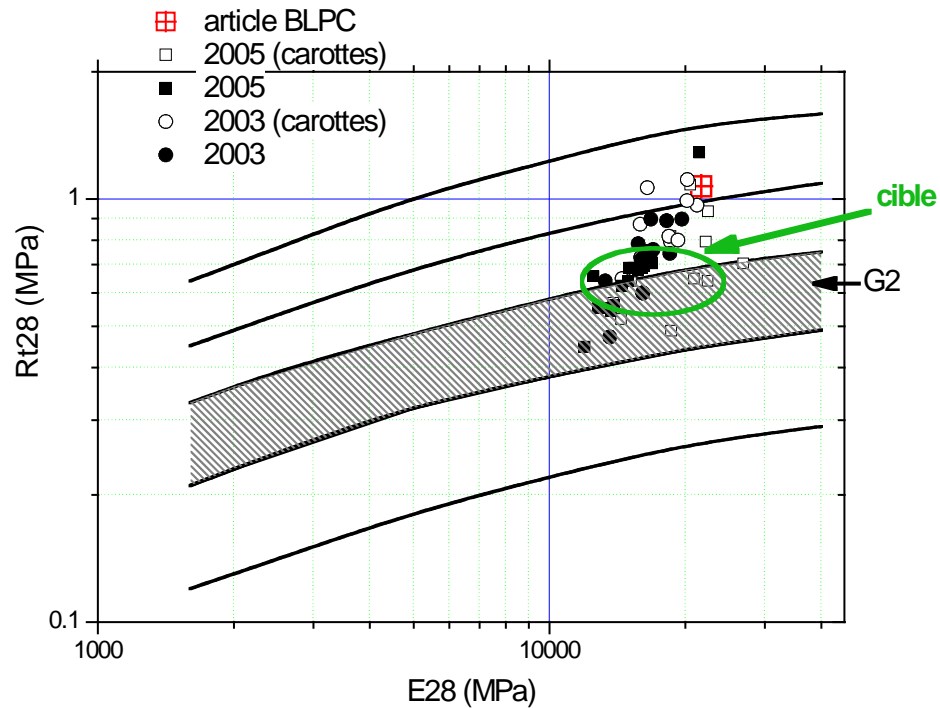
Concassé/alluvionnaire → Testés avec succès

Quantité d'eau nécessaire → Dépend du type de granulats



4.7 Les matériaux autocompactants

PERFORMANCES MÉCANIQUES DES MACESA



Source : BLPC n° 232 (mai-juin 2001) p 99-103

4.7 Les matériaux autocompactants

QUELQUES RÉALISATIONS

Meurthe-et-Moselle : Murville, Morfontaine et Joppécourt

Moselle : RD 19C

Vienne : RD 6 entre Bignoux et la RD 20

Mayenne : RD 151 entre Saint-Fraimbault-de-Prières et La Haie-Traversaine



4.7 Les matériaux autocompactants

MEURTHE-ET-MOSELLE

Chantier expérimental du Conseil Général → Elargissement réalisé sur RD 952 et RD 27 à Murville (60 m), Morfontaine (100 m) et Joppécourt (100 m)

Objectifs : identifier des problèmes industriels et valider les performances *in situ*

Teneur en eau du MACES 140 → Variable

Épaisseur → 35 cm

Trafic → Faible : T5

Géométrie de la poutre de rive
→ Variable (épaisseur, largeur, pente)



4.7 Les matériaux autocompactants

MEURTHE-ET-MOSELLE

Murville

$E = 270 \text{ l}$

$E_{ff} = 228 \text{ l}$



4.7 Les matériaux autocompactants

MEURTHE-ET-MOSELLE

Murville

$E = 252 \text{ l}$
 $E_{\text{ff}} = 210 \text{ l}$



Murville

$E = 238 \text{ l}$

$E_{\text{ff}} = 196 \text{ l}$

Ratissage énergétique nécessaire

Trop raide !

4.7 Les matériaux autocompactants

MEURTHE-ET-MOSELLE

Morfontaine

Mise en place en pente et sur une largeur plus importante



Attention aux bords de fouilles pour éviter les fuites de matériau !

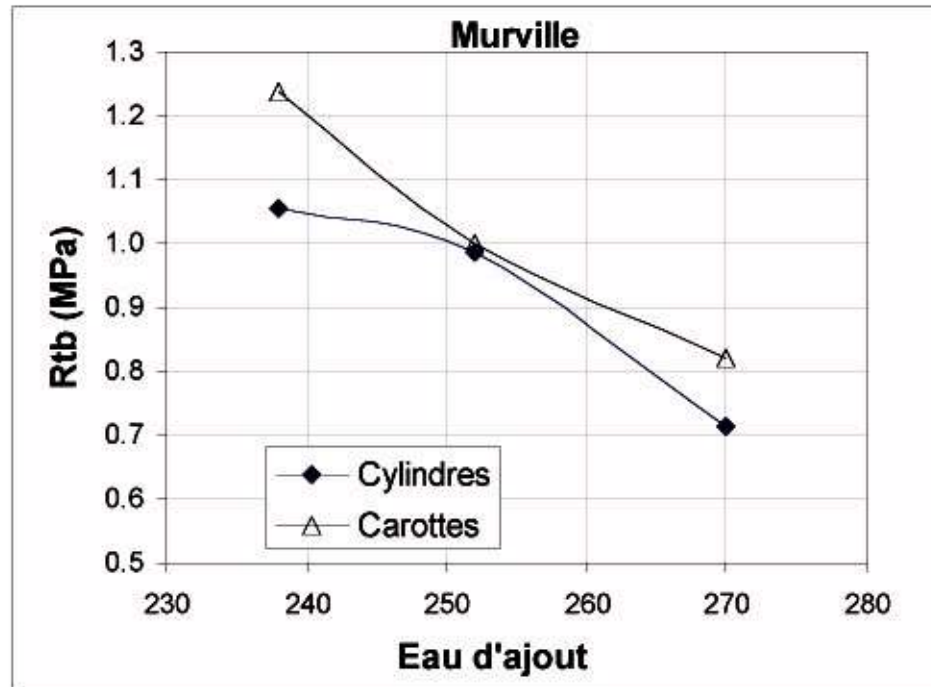


4.7 Les matériaux autocompactants

MEURTHE-ET-MOSELLE

Méthode de fabrication des éprouvettes → Représentative des performances en place

Exemple de Murville



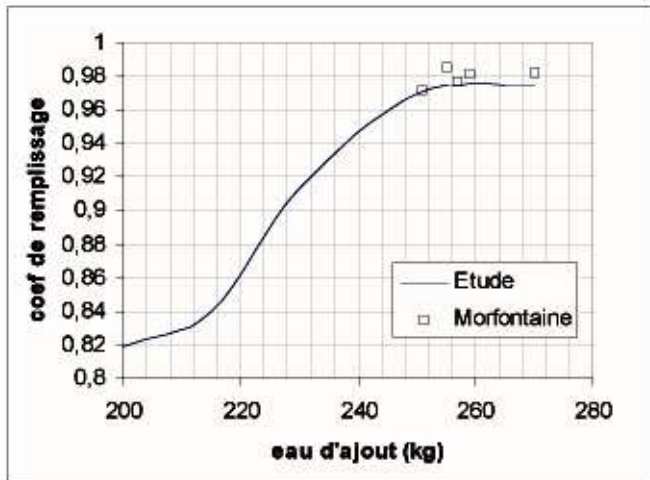
4.7 Les matériaux autocompactants

MEURTHE-ET-MOSELLE

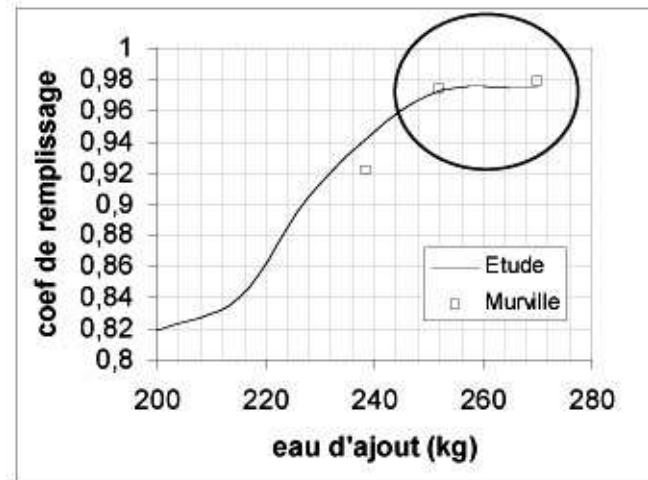
Teneur idéale en eau

Mesure de l'aptitude au compactage

Coefficient de remplissage = densité en place/densité théorique



Morfontaine



Murville

4.7 Les matériaux autocompactants

MEURTHE-ET-MOSELLE

Pose de l'enduit quelques heures après le coulage

Acquisition de portance rapide (après 2 heures)

Remise en service rapide (après 24 heures)

Bon comportement mécanique après 3 ans de circulation



4.7 Les matériaux autocompactants

MOSELLE

Chantier de démonstration du Conseil Général sur la RD 19C

Solution de base

Élargissement de 1,1 m de chaque côté

Structure : 20 cm GL + 30 cm GNT + Géotextile

Variante MACES

Élargissement limité à 2 poutres de 0,5 m de part et d'autre

Structure : 35 cm de MACES

Environ 4 km de chaussée à faible trafic (1 200 m³)

Mise en œuvre à la toupie et à l'élargisseur



4.7 Les matériaux autocompactants

MOSELLE

Principe de la mise en œuvre à l'élargisseur

Matériau sous dosé en eau en centrale + Ajout d'eau contrôlé + Re-malaxage sur chantier



4.7 Les matériaux autocompactants

MOSELLE

Mise en œuvre

Creusement de la fouille

Lissage du fond



4.7 Les matériaux autocompactants

MOSELLE

Mise en place à la toupie

Toupies performantes

Pas de problèmes de cadence

Souplesse d'utilisation

Encombrement réduit et limité dans le temps

Mise en place facile

Versement à la goulotte

Brassage naturel

Ratissage immédiat

Possibilité de mise en place à l'élargisseur

Propriétés proches (en moyenne et en écart-type) de celles obtenues avec les toupies

Important : bien soigner le contrôle de l'ajout d'eau sur site



4.7 Les matériaux autocompactants

MOSELLE

Bilan Matériau

Acquisition de portance rapide → Circulation piétons en quelques heures
et circulation VL en 24 heures

Bonnes caractéristiques mécaniques → 1-2 mois

Bonne correspondance entre éprouvettes de contrôle (coulées avec
l'appareil de Glanville) et carottes extraites des poutres

Pas de désordre connu

Teneur en eau → Compromis entre facilité de mise en place
et performances mécaniques

Des avantages → Pour les entreprises, les maîtres d'ouvrage
et les maîtres d'œuvre

4.7 Les matériaux autocompactants

VIENNE

Chantier du Conseil Général sur la RD 6 entre Bignoux et la RD 20

Caractéristiques

- Longueur : 3 200 m
- Chaussée avant travaux : 4,2 m de large
- Reconditionnement des accotements avec poutre de rive : profondeur 35 cm et largeur < 70 cm
- Chaussée après travaux : 5 m de large
- Mise en œuvre à la toupie
- Trafic : 1 000 véhicules/jour, pas de poids lourds
- Remise en service : 28 jours

Depuis ce chantier, plus de 20 km supplémentaires réalisés à la toupie

Aucun désordre à ce jour



4.7 Les matériaux autocompactants

MAYENNE

Chantier du Conseil Général sur la RD 151 entre Saint-Fraimbault-de-Prières et La Haie-Traversaine

Caractéristiques

- Longueur : 2 500 m
- Chaussée avant travaux : 5 m de large
- Elargissement avec poutre de rive de 35 cm de profondeur
- Chaussée après travaux : 6 m de large
- Mise en œuvre à la toupie
- Trafic : 1 200 véhicules/jour dont 15% de poids lourds
- Remise en service : 28 jours

Aucun désordre à ce jour



4.7 Les matériaux autocompactants

CONCLUSIONS

Application principale : poutres de rives pour chaussée à faible trafic

Concept mis à la disposition de la communauté

- Peut être produit en BPE sur tout le territoire
- Peut être mis en œuvre à la toupie
- Mise en œuvre à l'élargisseur → Technique opérationnelle nécessitant d'être optimisée

Remise en circulation rapide

- Circulable à pied en 2 ou 3 heures
- Remise en circulation après 24 h envisageable pour de faibles trafics

Bon comportement jusqu'à présent sur chantiers avec :

- Matériau de classe GC2
- Epaisseur de 35 cm
- Trafic T3 maximum



4.7 Les matériaux autocompactants

CONCLUSIONS (SUITE)

Matériau typique : MACES 140

- 140 kg/m³ de CEM I 52,5
- 200 à 300 l/m³ d'eau
- Dépend de la nature des granulats

À ajuster en suivant le coefficient de remplissage

Ne pas fluidifier à outrance → Permet l'utilisation en pente et limite la chute de résistance

Balancement de la goulotte de la toupie et léger ratissage de surface → Facilitent la répartition du MACES

Attention au réglage de la bordure de la fouille → Pour éviter les écoulements de MACES

Nécessité d'avoir du recul → Pour optimiser le dimensionnement de la structure, appliquer la technique et faire un guide de bon usage

4.7 Les matériaux autocompactants

CONCLUSIONS (FIN)

Avantages des MACES

Technique unique, quelle que soit la largeur des terrassements

Limite/évite l'acquisition foncière

Assurance du compactage et de la qualité du produit en place

Rapidité de mise en œuvre

Technique valable pour petits et gros chantiers

Aucune vibration

Remblaiement en une seule couche quelle que soit l'épaisseur

Tolérance relativement importante sur la teneur en eau

Technique sûre



4.7 Les matériaux autocompactants

BIBLIOGRAPHIE

T 62 : Remblayage des tranchées - Les matériaux autocompactants à base de ciment, CIMBÉTON, 2008



Document à télécharger ou à commander gratuitement sur le site www.snbpe.org ou www.infociments.fr